

Simulation boosts the use of fiber reinforced thermoplastic composite materials for mass production

Mathilde Chabin - ESI Group; Patrice Clerc - MECANIUM;
Pierre Gérard - ARKEMA



M. Chabin



P. Clerc



P. Gérard



Thermoplastic composite materials promise many advantages for the mass production of high performance composite components. These materials made of melt-processable resins are light, stiff, have an infinite shelf life, the potential for rapid process speeds, and excellent recyclability. They are also more lightweight compared to metallic materials, and offer more adaptable designs. Dr Pierre Gerard, expert in acrylics, composites and nanomaterials at specialist chemicals and advanced materials company Arkema, highlights the advantage of

fiber reinforced thermoplastic components versus thermoset when using composite materials: "Given a choice, manufacturers of high-performance composites might prefer to make parts for a variety of applications from reinforced thermoplastics rather than reinforced thermosets. Recyclability, higher ductility and better impact resistance, ease of repair or assembly by welding and, especially, short mold cycle times make thermoplastic composites very attractive". We now understand the value of fiber reinforced thermoplastic components, but there are still three major challenges to overcome.

First, the ability to simulate the manufacturing process, particularly for mass production. Second, the capability to characterize these materials so we can understand their exact behavior to feed the numerical models. Third, the ability of the material supplier to provide new resins to overcome the high melt viscosity of thermoplastics.

SIMULATING THE MANUFACTURING PROCESS

In the past, new tools were made, different material compositions tested and the manufacturing

La simulazione incentiva l'utilizzo dei materiali compositi termoplastici fibrorinforzati per le produzioni in serie

Mathilde Chabin - ESI Group; Patrice Clerc - MECANIUM; Pierre Gérard - ARKEMA



I materiali compositi termoplastici offrono ottime opportunità per la produzione in serie di componenti in composito di alta prestazione. Questi materiali, realizzati con resine trattabili per fusione sono leggeri, rigidi, hanno una vita utile infinita, le potenzialità di ottenere velocità di processo molto elevate e un'eccellente riciclabilità. Sono anche più leggeri rispetto ai materiali metallici e offrono la possibilità di eseguire progettazioni adattabili. Il Dr. Pierre Gerard, esperto di acriliche, compositi e nanomateriali presso Arkema, specializzata in prodotti chimici e materiali avanzati, ha sottolineato i vantaggi offerti dai materiali termoplastici fibrorinforzati rispetto a quelli termoindurenti quando si utilizzano i materiali compositi: "Potendo scegliere, i

produttori di compositi di alta prestazione potrebbero preferire realizzare parti per differenti applicazioni partendo dalle termoplastiche rinforzate e non termoindurenti rinforzate. La riciclabilità, l'elevata duttilità e la migliore resistenza all'urto, la facilità di riparazione o l'assemblaggio per saldatura, in particolare, i cicli di stampaggio a breve durata rendono i compositi termoplastici molto interessanti". Ormai si comprende il valore dei componenti termoplastici fibrorinforzati, ma permangono tre grandi sfide da vincere. In primo luogo, la possibilità di simulare il processo produttivo, in particolare per la produzione in serie; in secondo luogo, la possibilità di caratterizzare questi materiali in modo da comprendere esattamente la loro risposta alimentando modelli

numerici. In terzo e ultimo luogo, la possibilità del fornitore di materiali di fornire nuove resine e superare il problema dell'alta viscosità da fusione delle termoplastiche.

SIMULAZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO

Nel passato, sono stati realizzati nuovi utensili, e differenti composizioni di materiali sono stati ottimizzati nella realtà quotidiana fino alla realizzazione del prodotto desiderato. Mathilde Chabin, composites product marketing manager del Gruppo ESI, ha affermato: "Rilavorare manualmente la geometria dell'utensile, trattare la composizione del materiale e adattare i parametri di processo (come il ciclo termico, il sistema e la velocità dell'utensile) per migliorare la qualità del



process parameters were optimized in the real world until the desired product was achieved. Mathilde Chabin, composites product marketing manager at ESI Group, explained: “Manually reworking the tool geometry, playing with material composition and tuning process parameters (such as the temperature cycle, holding system and tool velocity) to improve the quality of the manufactured part does not only take a long time, it is also a very expensive process with high levels of waste”.

During the manufacturing process known as thermoforming, a sheet of thermoplastic composite material is heated until it is malleable and pressed against a tool to give the composite the desired shape. A range of defects may be introduced during the manufacturing process, such as fiber path deviation or wrinkling, for example. These defects can be investigated and resolved using simulation. Let's look at one example where the composite did not make contact with the tool at every point. Thermoplastic resin pooling occurs in the resulting gaps, which is a highly undesirable defect. This is where simulation software can step in. A new capability called die spotting allows simulation software to modify the geometry of the tools to effectively morph it to the formed part. The result is a new tool in which the thermoplastic resin will not pool.

Chabin added: “Our die spotting capability allows you to iterate and improve the tooling design within the software to ensure a perfect contact between the tool and the final product. Therefore, you get a homogeneous compaction at the end of the thermoforming”.

This die spotting capability removes one of the biggest headaches



componente finito non solo richiede molto tempo, ma è anche un processo molto costoso con elevate quantità di scarti”.

Durante il processo produttivo, noto come termoformatura, un foglio di materiale composito termoplastico viene riscaldato finché diventa malleabile e pressato contro un utensile per dare al composito la forma desiderata. Durante il processo produttivo potrebbero emergere vari difetti, ad esempio la deviazione del percorso della fibra oppure il raggrinzamento. Questi difetti possono essere studiati e risolti con l'ausilio della simulazione. Si osservi un esempio in cui il composito non entra in contatto con l'utensile in nessun punto.

L'accumulo della resina termoplastica ha luogo negli spazi vuoti risultanti, un difetto molto poco gradito.

Questo è il punto in cui il software di simulazione può intervenire. Una nuova funzionalità denominata die spotting consente al software di simulazione di modificare la geometria degli utensili per adattarlo effettivamente alla parte formata. Quel che ne consegue è un nuovo utensile in cui la resina termoplastica non si accumula. Chabin ha poi aggiunto: “il nostro die spotting ci permette di ripetere e migliorare la progettazione del lavoro nel software in modo da garantire un contatto perfetto fra l'utensile e il prodotto finale. Di conseguenza, al termine della termoformatura si ottiene una compattazione omogenea.”

La funzionalità del die spotting rimuove una delle principali preoccupazioni



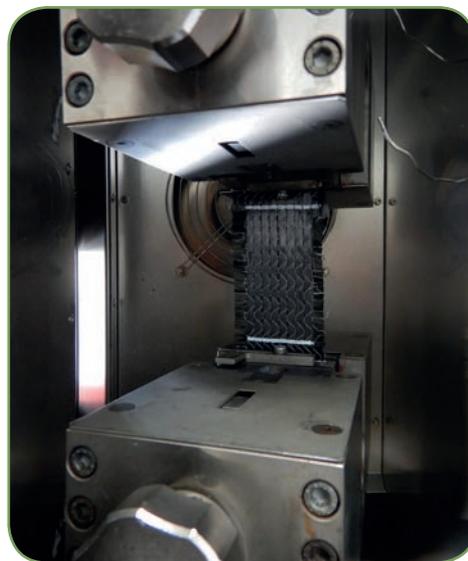
for composite engineers. The geometry of the tools can be automatically morphed to ensure a proper compaction and avoid the uncontrolled flow of resin so that the end product matches the requirements for the design. Pam-Composites also uses a process-oriented interface to make the modeling and analysis process incredibly easy to work with. The tool velocity, temperature and pressure cycle, clamping conditions and force, composite orientation and, as mentioned, the tooling design can be fully optimized from within the software until resin pooling, and other such defects, are minimized and the final product is fully optimized. There's no waste and no expensive real world iterations - the software does the legwork.

THE PROPER MATERIAL CHARACTERISTICS

Material data is a key influencing parameter for thermoplastic composite material simulations to run, and run as accurately as possible.

This requires experimental measurements to be brought into the simulation. Two challenges remain for material characteristics. First, composite materials are quite new and can be made from a combination of textile architectures, resins, and so on. The material composition

Traction test, picture frame test and bending test (Cantilever), used to characterize composite materials. Images courtesy of Mecanium



Test della trazione, prova su telaio e test della flessione (Cantilever), utilizzati per caratterizzare i materiali compositi. Immagini courtesy Mecanium

is not standardized, as Patrice Clerc, director at industrial mechanics specialist Mecanium, explained: "A norm only seizes good practices at a precise instant. Norms are a good way

to leverage best practices and to standardize experimental protocols, with a foundation in the material properties of known materials.

It's therefore not surprising that norms are seldom suited to new, innovative materials.

The art of experimenting is to know how to draw from a norm, while taking the necessary step back to evolve it". Material data, therefore, needs to be tested numerically and experimentally using simple parts before it is transferred to an industrial-scale model. Second, there is usually a lot of complex and time consuming work to be done when moving the raw experimental data and material data into the software.

Most simulation solutions calibrate this raw data so that it works with the software, but such data conversions bring inaccuracies into the resulting simulations. However, ESI Pam-Composites, which also includes the previously mentioned die spotting capability, does not need to carry out any calibration. This simplifies the entry of the material characteristics, as Chabin explained: "You can directly import the raw material data, which results in time savings and improved accuracies in the resulting simulations.

It also reduces the risk of human error, further improving the end result".



degli ingegneri che lavorano i compositi. La geometria degli utensili può essere modellata automaticamente per garantire una compattazione adeguata ed evitare lo scorrimento fuori controllo della resina così che il prodotto finale arrivi a soddisfare i requisiti della progettazione. Pam-Composites utilizza inoltre l'interfaccia ad orientazione di processo per rendere semplicissimi la modellazione e il processo di analisi die spotting. La velocità dell'utensile, i cicli termico e di pressione, le condizioni di blocco e la forza, l'orientamento del composito e, come già detto sopra, la progettazione del lavoro, possono essere interamente ottimizzati dal software perché l'accumulo di resina e altri difetti simili siano minimizzati e il prodotto finale del tutto ottimizzato. Non vi sono prodotti di scarso né costose ripetizioni e il software compie le operazioni più laboriose.

LE CARATTERISTICHE PROPRIE DEL MATERIALE

I dati del materiale rappresentano il parametro chiave che influisce sulle simulazioni dei parametri del materiale composito termoplastico e agiscono in modo accurato. Tutto questo richiede che le misure sperimentali vengano introdotte nella simulazione. Rimangono però due sfide nella definizione delle caratteristiche del materiale. In primo luogo, i materiali compositi sono nuovi e possono essere ricavati da una combinazione di strutture tessili, resine e altro. La composizione del materiale non è standardizzata come ha spiegato Patrice Clerc, direttore di Mecanium, specialista di meccanica industriale: "Una norma coglie le buone pratiche in un momento preciso. Le norme rappresentano un buon modo per far leva sulle migliori pratiche e per standardizzare i protocolli sperimentali, fissando le basi nelle proprietà del materiale applicate ai materiali nuovi. Non sorprende quindi che le norme

raramente vengono adattate a materiali innovativi. L'arte di sperimentare equivale a sapere come utilizzare la norma facendo un passo indietro per migliorarla". Quindi i dati del materiale devono essere analizzati numericamente e sperimentalmente utilizzando parti semplici prima che siano trasferiti su un modello di scala industriale. In secondo luogo, di solito, si compie un lungo e complesso lavoro di lunga durata nel trasferimento dei dati sperimentali grezzi e del materiale nel software. La maggior parte del lavoro di simulazione delle soluzioni serve a calibrare i dati grezzi in modo che operino nel software, ma le conversioni di questi dati causano inesattezze nelle simulazioni risultanti. Tuttavia, ESI Pam-Composites, che include anche la funzionalità del punto colore menzionata sopra, non deve eseguire nessuna calibrazione. Ciò semplifica l'input delle caratteristiche del materiale, come dichiarato da Chabin: "E' possibile

Bridging defect on thermoplastic rib, as simulated using ESI Pam-Composites. Courtesy: TU Delft



Correzione dei difetti su una nervatura in termoplastico simulata con ESI Pam-Composites. Immagine: TU Delft

MULTI PROCESS SIMULATIONS

Thermoplastic resins are often used for RTM (Resin Transfer Molding) processes where a dry textile is positioned into a mold and then the resin is injected. RTM processes present several advantages, including the flexibility to allow integrations of functions. However, because of the viscosity of the thermoplastic resins used, material suppliers are working on adapting these resins to make them compatible with the RTM process.

Dr Pierre Gerard from Arkema said: "Lowering the viscosity of thermoplastics to a value below one Pa enables the use of thermoset production methods such as Resin Transfer Molding (RTM)

mold where the polymerization reactions take place after the thermoplastic liquid resin has completely wet out the reinforcement". Pam-Composites contains an RTM module to help engineers predict how the resin will flow in the preform and if any dry zones are created during the injection process. The incorporation of this module not only keeps pace with industry demand, it also brings in cost savings as such tests can now be carried out in the simulation space, as opposed to the real world.

CONCLUSION

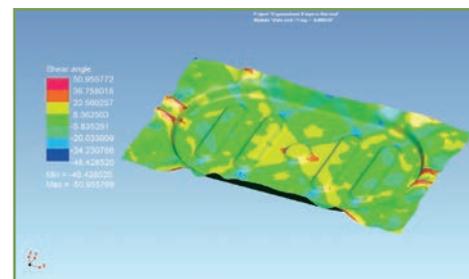
The full industrial potential of thermoplastic resins is slowly being realized.

or Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) for large parts such as wind turbine blades or sailing ships, for instance. In order to achieve these low viscosities, low viscous mixtures of monomers, oligomers or prepolymers and catalysts or initiators can be infused into a

Until now, development methods relied on expensive real-world experiments or haphazard simulations where the full wealth of knowledge about thermoplastic composite materials and thermoforming techniques were not intuitively brought together to produce a defect-free design. ESI Pam-Composites resolves these issues.

It gives engineers the opportunity to optimize and produce the perfect product through simulations, which, in turn, opens up a huge range of application opportunities to these environmentally important materials in the real world.

Shear angle on thermoformed organo-sheet, as simulated with ESI Pam-Composites



Angolo di taglio su un pannello termoformato, simulato con ESI Pam-Composites



importare direttamente i dati grezzi, il che permette di risparmiare tempo con maggiori accuratezze nelle risultanti simulazioni. Ciò riduce anche l'errore umano, apportando migliorie al risultato finale".

SIMULAZIONI DI PROCESSO MULTIPLIO

Le resine termoplastiche sono utilizzate spesso per i processi RTM (Resin Transfer Molding) dove un tessile asciutto viene posizionato in uno stampo per poi iniettare la resina. I processi RTM presentano vari vantaggi fra cui la flessibilità che permette l'integrazione di funzioni. Tuttavia, a causa della viscosità delle resine termoplastiche utilizzate, i fornitori del materiale stanno lavorando all'adeguamento di queste resine per renderle compatibili con il processo RTM. Il Dr Pierre Gerard ha affermato: "La diminuzione della viscosità delle termoplastiche fino a raggiungere un valore

inferiore ad un Pa permette di adottare le tecniche di produzione dei termoindurenti come l'RTM o l'infusione di resina a vuoto (VARI) per parti di grandi dimensioni come le pale delle turbine eoliche oppure le barche a vela. Per ottenere queste viscosità ridotte, è possibile preparare miscele a viscosità ridotta di monomeri, oligomeri o prepolimeri e catalizzatori o ancora iniziatori, da introdurre per infusione in uno stampo in cui le reazioni di polimerizzazione hanno luogo dopo che la resina termoplastica liquida ha impregnato completamente il rinforzo".

Pam-Composites contiene un modulo RTM e agevola gli ingegneri nel prevedere le modalità in cui la resina scorre nel preformato così come l'eventualità che si determinino delle zone asciutte durante il processo di iniezione. L'incorporazione di questo modulo non solo va di pari passo con la domanda dell'industria ma permette anche

risparmi dei costi in quanto i test possono essere eseguiti come simulazione e non realmente.

CONCLUSIONI

Le potenzialità industriali delle resine termoplastiche stanno diventando lentamente oggetto di riflessione per tutti. Finora, le tecniche di sviluppo si sono affidate a esperimenti molto costosi nel mondo reale oppure a simulazioni casuali in cui la ricchezza delle conoscenze sui materiali compositi termoplastici e le tecniche di termoformatura non sono state messe a frutto per realizzare una progettazione priva di difetti. ESI Pam-Composites risolve queste problematiche e offre agli ingegneri l'opportunità di ottimizzare e produrre il materiale perfetto attraverso le simulazioni, che, a loro volta, aprono le porte ad un'ampia serie di opportunità applicative a questi importanti materiali ecologici nella vita di tutti i giorni.